



Estudios de Caso y Notas Técnicas

Alerta: Os artigos publicados nesta seção não são avaliados por pares e não são indexados. A intenção da seção ECNT é prover um espaço para divulgação de dados e estudos de interesse local, sem caráter científico. Sendo assim, a Revista Águas Subterrâneas não se responsabiliza pelo conteúdo publicado.

Disclaimer: Articles published in this section are not peer-reviewed and are not indexed. The intention of the ECNT section is to provide a space for the dissemination of data and studies of local interest, with no scientific character. Therefore, Revista Águas Subterrâneas is not responsible for this content.

Identificación de las características hidrológicas en acuíferos en el margen oriental de la cadena occidental de la cordillera del Perú

Identification of the hydrological characteristics of aquifers in the eastern margin of the western chain of the Cordillera of Peru.

Christ Jesús Barriga Paria¹; José Carlos Gutiérrez Vargas¹ Oscar David Soto Medina¹✉

¹ Universidad Nacional de Moquegua Moquegua, Moquegua.

✉ 2017103028@unam.edu.pe, cbarrigapa@unam.edu.pe, 2016103060@unam.edu.pe

Palabras-chave:

Conductividad eléctrica, Ph, Sólidos totales disueltos, Salinidad, Temperatura

Keywords

Electrical Conductivity, Ph, Total Dissolved Solids, Salinity, Temperature

Resumen

La caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas era el objetivo de este estudio. La comunidad y quienes toman decisiones sobre el uso del agua podrían utilizar esta investigación como guía. Esta caracterización es significativa porque contribuye a la comprensión y amplía nuestros conocimientos sobre la composición química de agua subterránea, las interacciones con el entorno geológico y los materiales que componen el acuífero.

Se recogieron muestras de variables fisicoquímicas como el pH, la electroconductividad y la temperatura. Con el fin de proporcionar a la comunidad información sobre el consumo y el uso de los recursos hídricos, estas muestras se analizaron con el objetivo de describir la composición química del agua en los distintos entornos evaluados.

Los datos recolectados con los que posteriormente se realizaron las pruebas se dieron entre tres formaciones las cuales son: Formación Chota, Formación Cajaruro, Formación El Milagro. Los resultados que obtuvimos con las pruebas realizadas a los distintos parámetros seleccionados se dividen en dos, estos son clasificados de acuerdo a la perforación realizada y los resultados son: (1) Conductividad: 69.60µs/cm Ph: 8.78, Total de Sólidos Disueltos: 71.50 ppm Salinidad: 700.00 ppm (2) Conductividad: 875.00µs/cm Ph: 9.74 Total de Sólidos Disueltos: 244.00 ppm Salinidad: 436.00 ppm Temperatura: 22.30 °C.

Abstract

Hydrogeochemical characterization of groundwater was the objective of this study. The community and water-use decision makers could use this research as a guide. This characterization is significant because it contributes to our understanding and broadens our knowledge of the chemical composition of groundwater, the interactions with the geologic environment, and the materials that make up the aquifer.

Samples of physicochemical variables such as pH, electroconductivity and temperature were collected. In order to provide the community with information on the consumption and use of water resources, these samples were analyzed with the objective of describing the chemical composition of the water in the different environments evaluated.

The data collected with which the tests were subsequently performed were given among three formations which are: Chota Formation, Cajaruro Formation, El Milagro Formation. The results that we obtained with the tests carried out to the different selected parameters are divided into two, these are classified according to the drilling done and the results are: (1) Conductivity: 69.60µs/cm Ph: 8.78, Total Dissolved Solids: 71.50 ppm Salinity: 700.00 ppm (2) Conductivity: 875.00µs/cm Ph: 9.74 Total Dissolved Solids: 244.00 ppm Salinity: 436.00 ppm Temperature: 22.30 °C.

DOI: <http://doi.org/10.14295/ras.v37i1.30207>

1. INTRODUCCIÓN

Las propiedades del agua se ven modificadas paulatinamente por la contaminación provocada por la industria, la agricultura o los barrios marginales de las ciudades, lo que exige mecanismos de control cada vez más sofisticados. Debido a la contaminación que entra en los

sistemas hídricos, las actividades humanas alteran la composición química del agua natural de numerosas e intrincadas maneras. (Cuba. Ministerio de Educación Superior. et al., 2000)

El uso excesivo de las aguas subterráneas genera una vulnerabilidad y degradación de su calidad, esto no se entendió hasta hace poco tiempo. No está claro si los modelos actuales sobrestiman o subestiman las variaciones reales, ya que es difícil estimar los cambios en el almacenamiento de las aguas subterráneas mediante observaciones puntuales. (PINO V.; PINO V., 2019), es debido a esto que se generó este estudio el cual nos permitirá comprender de mejor manera los cambios fisicoquímicos que ocurren en las aguas subterráneas, estas aguas son mucho menores a las superficiales.

Se estima que de ocho a diez millones de kilómetros cúbicos (km³) de agua subterránea fresca representan la mayor parte del total de agua dulce líquida en la Tierra, o para ser más precisos: aproximadamente del 98 al 99% de ella, según lo mostrado en la Figura 1 (SHIKLOMANOV; RODDA, 2004); en comparación, el volumen global de agua dulce en los lagos es inferior al 1% del volumen total de agua dulce subterránea, (SCHNEIDER; ROOT; MASTRANDREA, 2011) es por eso que requieren un estudio más detallado para poder cuidar y aprovecharla causando el menor impacto.

Tomamos muestras de parámetros fisicoquímicos tales como: temperatura, pH, electroconductividad. Estas muestras fueron analizadas con el objetivo de caracterizar la composición química del agua en los diferentes ambientes evaluados, de tal manera que sirviera como información a la comunidad en el consumo y uso de los recursos hídricos. (MARINERO-ORANTES; ZUNIGA-GONZALEZ, 2022)

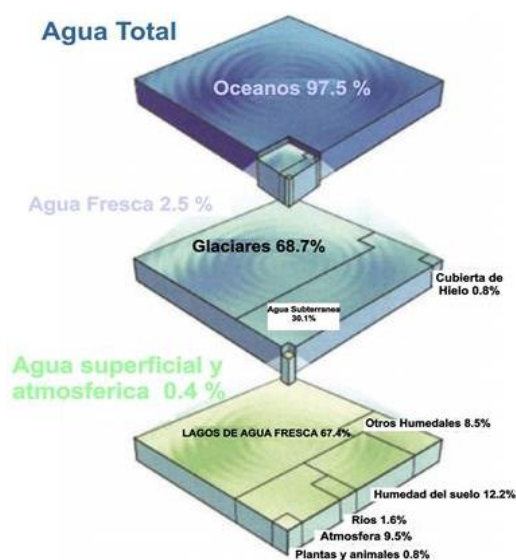


Figura 1- Porcentaje de agua en la Tierra

2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio (Figura 1) está ubicado en el distrito de Bagua Grande - provincia de Utcubamba - departamento de Amazonas - Perú con las coordenadas (Tabla 1)

Tabla 1 - Coordenadas del estudio

Coordenadas WGS84		
Vértice	Norte	Este
1	9,368,634.37	772,741.07
2	9,368,634.37	775,741.07
3	9,367,634.34	775,741.07
4	9,367,634.34	772,741.07

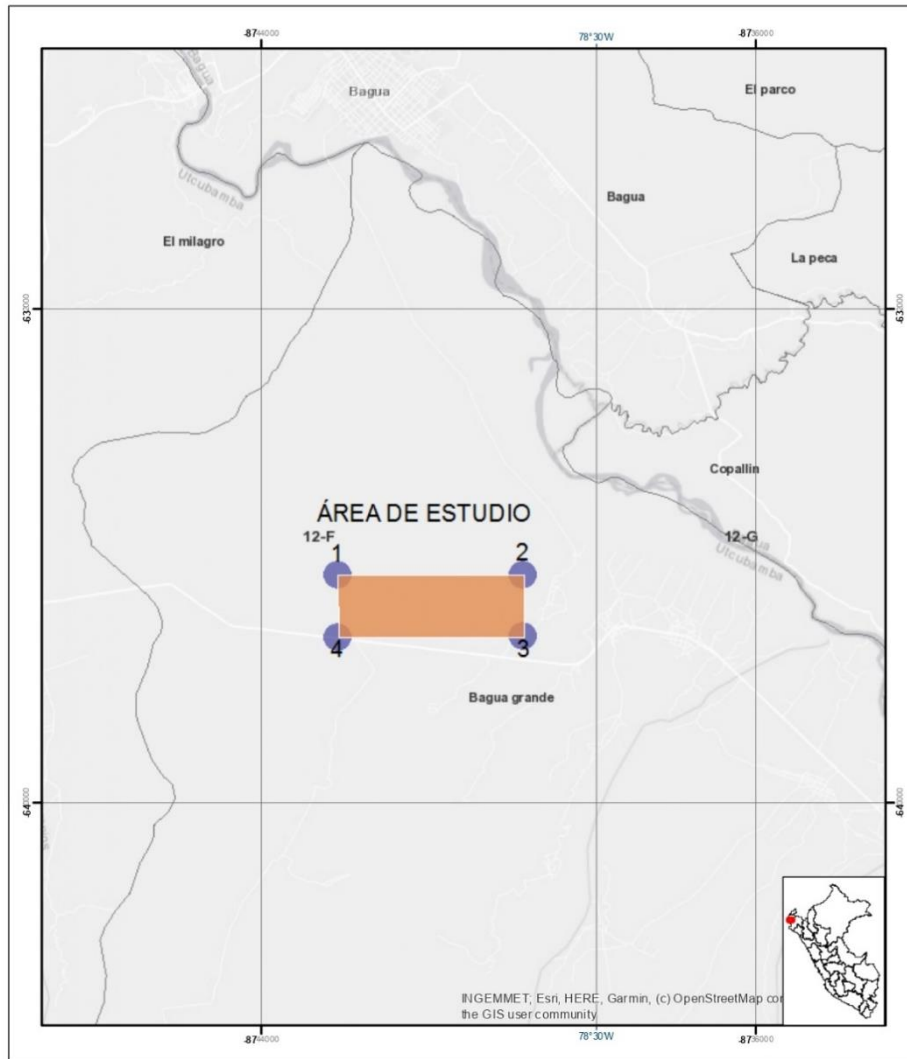


Figura 2. Mapa de Ubicación

2.1 Características Litológicas

2.1.1 Formación Chota

La formación chota se encuentra al oeste de la ciudad de Chota, en el departamento de Cajamarca, y reconocida en amplias extensiones del nororiente peruano. La zona se encuentra en el este de la provincia de Jaén, en el sector suroriental de la cuenca de Bagua. Cuenta con afloramientos reconocibles por un distintivo color rojo. (CHA-CALTANA et al., 2015)

2.1.2. Formación Cajaruro

Se encuentra situada en la Hoja de Bagua Grande adyacente al meridiano de Jaén, y precisamente entre La Versalla y el Cruce de Cayaltí, la flora de esta unidad es una continuación de la de Cajaruro. También se encuentran otras ocurrencias en el cerro Piedras Blancas y en el inicio del Pongo de Rontoma, yaciendo en concordancia sobre la Formación Chota. Tiene coloración claustral, con tonalidad blanquecina en general, diferenciable de las unidades infra y suprayacentes que son mayormente rojizas. (SÁNCHEZ; DÁVILA; DE LA CRUZ, [s.d.])

2.1.3. Formación El Milagro

El acuífero estaría delimitado en el techo por arcillas con lentes de areniscas, la puzo-lana. Hacia el tajío se puede observar estratos de diversas variedades como de puzo-lanas y arcillas rojizas por presencia de limonita, arcillas calcinadas, dispuestos a manera de mantos con intercalaciones de arenisca arcillas limonititas de baja permeabilidad posiblemente el manto de acuífero este a una profundidad de 60 m aproximadamente.

Aflora en el sector NE de la hoja de Jaén. Sus exposiciones más conspicuas se observan al Sur del Cerro Capita, a inmediaciones del cuartel "El Milagro"; igualmente en los cerros Fila Larga, Los Rollos, Barreta, Brujo Pata, La Cabra, Agua Encantada, Piedras Blancas y al Oeste de los cerros Colorado y Botija.

Se distingue por presentar un característico color gris blanquecino a rojizo abigarrado. Sus afloramientos dan relieves moderados, los cuales pueden estar muy disectados por quebradas de corto recorrido, pudiendo presentar cortes verticales debido a erosión lateral. (SÁNCHEZ; DÁVILA; DE LA CRUZ, [s.d.])

Se ha realizado medidas del Nivel estático del agua subterránea en los dos piezómetros de monitoreo hidrogeológico perforados e instalados exclusivamente para estos fines. Esto se realizó con el objeto de conocer en el área de estudio la forma de la superficie piezométrica del manto estudiado

Tabla 2 - Profundidad del acuífero

Cantidad	Instrumento	Marca
01	GPS	Garmin-Modelo Vista
01	Brújula	Dqy
01	Equipo de Bombeo	Mega Monsoon Pump
01	Tag Line	Solinst
01	Phmetro –Conductivimetro y Temperatura	Extech

Nota: En la tabla 1 se presenta la profundidad de los niveles de agua en el momento de la instalación de los piezómetros, los cuales no indican exactamente la profundidad del acuífero.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

Tabla 3 - Materiales usados en la investigación

Cantidad	Instrumento	Marca
01	GPS	Garmin-Modelo Vista
01	Brújula	Dqy
01	Equipo de Bombeo	Mega Monsoon Pump
01	Tag Line	Solinst
01	Phmetro –Conductivimetro y Temperatura	Extech

Se han realizado numerosas aplicaciones del GPS, que van desde la gestión del territorio hasta la geodinámica, (HELIANI et al., 2020) siendo el sistema más conocido cuyo desarrollo fue motivado por consideraciones militares, (SARAIVA et al., 2022) teniendo el poder de determinar dónde se encuentra un receptor en la superficie de la Tierra o cerca de ella. (SARAIVA et al., 2022)

Phmetro es el nombre de un dispositivo utilizado para medir el pH. La concentración de iones de hidrógeno en una solución o la actividad de los iones de hidrógeno en una solución son dos formas de definir el pH. (TANTRAY et al., 2023)

Tabla 4 - Softwares utilizados

Software	Uso
AutoCAD 2006	Diseño asistido por computador
Visual Modflow Pro v.4.1	para realizar el modelamiento matemático del acuífero.
Software Global Mapper 9.0	interpretación de Topografía Satelital e Imágenes de Satélite.
Map Source v6.1	Para descargar datos de GPS Garmín

Al aplicar Modflow representa un paso adelante en el reconocimiento del comportamiento de las aguas subterráneas dinámicas, porque conocer la variación de las aguas subterráneas en el tiempo y el espacio es importante para apoyar la toma de decisiones sobre la gestión del agua. (XU et al., 2011)

3.2. Métodos

Se perforaron 02 Piezómetros de control para determinar los parámetros hidráulicos y control de calidad de agua subterránea, en el ámbito de influencia de la Cantera.

Terminada la perforación de los piezómetros se procedieron, se procedió al entubado de los piezómetros con tuberías PVC ciegas y ranuradas según el diseño técnico de los piezómetros, los cuales servirán para los fines mencionados en el presente estudio. La instalación de los piezómetros (Pz-01 y Pz02) cumpliendo con los Procedimiento de Operación Estándar (SOP), necesario para garantizar la calidad y seguridad de la instalación de piezómetros de control.

La instalación comprende a la parte de la tubería instalada en los piezómetros; se tiene en el Pz-01, una perforación de 26.90 m y 19.68 m de tuberías, en el Pz-02 se llegó a perforar 25.40 m y se tiene una instalación de 19.61 m de tuberías. Los diámetros de los piezómetros ubicados en la concesión minera son de 2 pulgadas, los que fueron instalados en taladros de 3 pulgadas de diámetro en ambos casos.

Las lecturas del piezómetro generalmente se registran para monitorear los cambios en el nivel freático debido a las condiciones ambientales. (NISTOR et al., 2020)

Para lograr los objetivos del presente estudio se realizaron las siguientes actividades:

Recopilación, análisis y evaluación de información existente. Se obtuvo información de diferentes fuentes tales como: El estudio de la Hidrología del Perú donde se tiene como finalidad proporcionar los elementos necesarios para evaluar los recursos hídricos disponibles (SENAMHI, [s.d.]), también el estudio temático para zonificación ecológica y económica del departamento de San Martín donde se tenía como propósito el identificar y describir la red hidrológica, su comportamiento, así como averiguar las características físicas y químicas de los principales cuerpos de agua que la componen (GARCIA, 2007) y finalmente también con Indicadores Ambientales (CONAM, 2005)

(1) Reconocimiento geológico. (2) Inventario de fuentes de Aguas Subterráneas. (3) Toma de muestras de las fuentes de Aguas Subterráneas. (4) Prueba de Bombeo. (5) Análisis e interpretación de datos. (6) Redacción, edición del artículo conteniendo las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

Técnicas como los levantamientos geofísicos y las perforaciones se han utilizado para estimar indirectamente la permeabilidad de los acuíferos, las pruebas de acuíferos, incluidas las pruebas de bombeo y slug, siguen siendo el enfoque de campo predominante. Entre los dos métodos de prueba de acuíferos, la prueba de bombeo generalmente se considera el método preferido. (SUN, 2018) Las pruebas de bombeo se han utilizado comúnmente para estimar los parámetros del acuífero en el campo. (WEN et al., 2017)

Es así que, para determinar las características hidrológicas del acuífero, se ha empleado la técnica de evaluación mediante las pruebas de bombeo; metodología utilizada para estudiar el acuífero en condiciones casi naturales.

Seguidamente se procedió con el muestreo de campo el cual el objetivo es el de recolectar, rotular y preservar muestras representativas de las condiciones del agua de forma que serán enviadas al laboratorio con sus correspondientes cadenas de custodia para diferentes ensayos fisicoquímicos.

3.3. Muestras en blanco (QA/QC)

Las muestras en blanco desempeñan un papel vital en el análisis cuantitativo y, a menudo, los organismos reguladores los requieren como parte de sus esquemas de control de calidad” (RAYNIE, 2020) Se prepararon dos muestras en blanco con agua destilada que se denominaron B1 y B2. Se les agrega los mismos preservantes, usando los mismos procedimientos de preparación como para las otras muestras en el campo, y al final son analizados en el laboratorio, junto con las otras muestras.

3.4. Muestreo En Campo

El establecimiento de la distribución de los contaminantes, la evaluación de la eficacia de los esfuerzos de rehabilitación, el control de la protección de la salud humana y del medio ambiente y la gestión sostenible de los recursos de aguas subterráneas dependen de un muestreo representativo de las aguas subterráneas. (WANG et al., 2019)

El objetivo del muestreo de aguas subterráneas in situ es el de recolectar, rotular y preservar muestras representativas de las condiciones del agua de forma que serán enviadas al laboratorio con sus correspondientes cadenas de custodia para diferentes ensayos fisicoquímicos.

Los trabajos de campo en cuanto a la toma de muestra de aguas subterráneas, se realizó según los parámetros y pasos planteados en los "Procedimiento para la Toma de Muestras de Agua Subterránea en Pozos de Monitoreo"

3.5. Medición de Parámetros Físicoquímicos en Campo

Los parámetros físicoquímicos dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática; Numerosos investigadores aconsejan utilizar ambos a la hora de evaluar el recurso hidráulico, ya que los métodos bioquímicos proporcionan esta información, pero no revelan nada sobre el contaminante o los contaminantes responsables. (OROZCO et al., 2005)

Los parámetros físicoquímicos más importantes que medir en el campo son: (1) Temperatura T (°C): El parámetro más fácil de determinar. Controla la velocidad de reacciones químicas. Aumenta la profundidad con 30 °C/Km. en términos medios y con un gradiente mayor en zonas volcánicas. Variaciones estacionales permiten utilizar la temperatura como trazador. (2) pH: Características ácidas / básicas del agua. Depende mucho de la interacción entre roca y agua.

Son dos de los métodos generales usados para determinar el valor del pH. El método Colorimétrico el cual emplea indicadores, sustancias que exhiben diferentes colores de acuerdo con el pH de la solución, puede proporcionar datos de alta calidad, en amplios rangos de salinidad y temperatura con una deriva insignificante durante largos períodos de tiempo (RÉROLLE et al., 2016) ,y el método electrométrico que es el método más común para medir el pH. Hay diferentes tipos de electrodos de vidrio de alta presión y temperatura disponibles comercialmente para determinar el pH de muestras acuosas en condiciones relevantes de temperatura y presión. (HAGHI et al., 2017)

3.6. Recolección de Muestras de Aguas Subterráneas

El objetivo es recoger muestras que representen las condiciones hidrogeoquímica reales. Las muestras de agua subterránea bombeada suelen estar compuestas por dos partes de agua: una es el flujo vertical de agua estancada en el pozo, que es impulsado por un gradiente de carga vertical, y la otra es el agua del acuífero, que es impulsada por un gradiente de carga horizontal en el acuífero. (HE et al., 2022)

En cuanto a la recolección de muestras de agua subterránea se muestreo 02 puntos correspondientes a los piezómetros PZ-01 y Z-02, el primero ubicado en el entorno del botadero de material excedente y el segundo ubicado a un costado del acceso secundario a la Cantera.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

El propósito de esta investigación fue la caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas. Esta caracterización sería una referencia para la comunidad y los tomadores de decisiones sobre el uso del agua. La importancia de esta caracterización se centra en ampliar el conocimiento de la composición química de agua subterránea determinada por procesos antropogénicos y por interacciones con el medio geológico y el material que compone el acuífero (MARINERO-ORANTES; ZUNIGA-GONZALEZ, 2022)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los parámetros físicoquímicos de las distintas muestras extraídas de la zona de estudio. Estos resultados fueron obtenidos de los piezómetros antes mencionados, posteriormente se presentará en la Tabla 4 un resumen con todos los resultados obtenidos.

4.1. Conductividad Eléctrica

De los valores obtenidos en campo correspondiente para este parámetro, se tiene un valor mínimo de 69.60 $\mu\text{s}/\text{cm}$, obtenido en el Pz-01, mientras que el máximo valor obtenido es de 875.00 $\mu\text{s}/\text{cm}$, localizado en el Pz-02. La relación de conductividad eléctrica (CE) es directamente proporcional al contenido de sólidos totales disueltos en el agua subterránea y éstos se incrementan con la evolución del agua subterránea, o por efecto de la contaminación natural o antropogénica. (TEODORO SILVA et al., 2013)

La variabilidad espacial de los suelos es causada por interacciones entre procesos físicos, químicos y biológicos que actúan simultáneamente con diferente intensidad (MALLARINO; DJ WITTRY, 2004)

4.2. Ph

De las muestras analizadas en campo para este parámetro químico, se ha obtenido un valor mínimo de 8.78, ubicado en el Pz-01; mientras que el máximo valor de 9.74 se ubica en el Pz-02. El pH resultó tendiente a la alcalinidad La escala de pH varía de 0,0 [ácido puro], a 7,0 [neutro] y 14,0 [alcalino puro] Los suelos analizados a 4,5 o menos son muy ácidos, los de 6,5 a 7,0 son efectivamente neutros y los suelos por encima de 7,0 son alcalinos ("4227 pH value [n]", 2010)

4.3. Total de Sólidos Disueltos

Para este parámetro los resultados de las muestras analizadas son: un valor mínimo encontrado de 71.50 ppm correspondiente al Pz-01, mientras que el valor máximo corresponde al Pz-02 con un valor de 244.00 ppm.

4.4. Salinidad

El valor mínimo para este parámetro es de 436.00 ppm correspondiente al Pz-02 mientras que el máximo valor es de 700.00 ppm correspondiente al Pz-01.

4.5. Temperatura

En cuanto a la temperatura muestreada para todos los puntos el mínimo valor encontrado fue de 22.30 °C correspondiente al Pz-02 mientras que para el Pz-01 se encontró un valor máximo de 30.30 °C. La temperatura puede influir en el incremento o decremento de la solubilidad de las sustancias presentes en específico su conductividad eléctrica; en la cuenca (TEODORO SILVA et al., 2013)

Tabla 5 - Resumen con todos los resultados obtenidos

COD	Pz-01	Pz-02
Conductividad	69.60µs/cm	875.00µs/cm
Ph	8.78	9.74
Total de Sólidos Disueltos	71.50 ppm	244.00 ppm
Salinidad	700.00 ppm	436.00 ppm
Temperatura	30.30 °C.	22.30 °C

5. CONCLUSIONES

Con el análisis de la información piezométrica y fisicoquímica recolectada de los pozos Pz-01 y Pz-02 ubicados en la zona de estudio se ha logrado obtener los resultados de Conductividad, Ph, Total de Sólidos Disueltos, Salinidad. La principal diferencia que se aprecia entre los pozos Pz-01 y Pz-02 se encuentra en los resultados de Conductividad, Total de sólidos disueltos y Salinidad ya que en estos valores fluctúan más los resultados. En el parámetro que está referido a la conductividad existe una diferencia de 805.4 µs/cm entre el Pz-02 y Pz-01. En el resultado de total de sólidos disueltos presenta una variación de 172.5 ppm entre Pz-02 y Pz-01 respectivamente finalmente en las pruebas de salinidad existe una diferencia de 264 ppm.

Se realizaron 02 pruebas de bombeo a caudal constante en los piezómetros instalados con fines de monitoreo hidrogeológico y cuya interpretación se encuentra en la tabla 5. Las fuentes de alimentación o de recarga de la napa del acuífero son: (1) Flujo subterráneo proveniente de la infiltración, producto de las precipitaciones. (2) Flujo subterráneo proveniente de la infiltración en la parte alta de las submicrocuencas de la Quebrada El Jahuanga y de la quebrada sin nombre.

El acuífero estaría delimitado en el techo por arcillas con lentes de areniscas, la puzo-lana. Hacia el tajo se puede observar estratos de diversas variedades como de puzo-lanas y arcillas rojizas por presencia de limonita, arcillas calcinadas, dispuestos a manera de mantos con intercalaciones de arenisca arcillas limonititas de baja permeabilidad posiblemente el manto de acuífero este a una profundidad de 60 m aproximadamente.

Tabla 6 - Pruebas de bombeo

COD		Pz-01	Pz-02
Cota Terreno	m.s.n.m.	524.0	521.0

Propiedad Hidráulica	Prof. (m)	4.144	2.965 m
	m.s.n.m	514.28	510.47
Propiedad Hidráulica	K (m/d)	1.38E-01	3.76E-01
	T (m ² /d)	1.38E-02	3.76E-02

REFERENCIAS

- ALMEIDA, O. A. *Qualidade da água de irrigação*. EMBRAPA Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas-BA. 2010. 4227 pH value [n]. Em: *Encyclopedic Dictionary of Landscape and Urban Plan-ning*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010. p. 691–691.
- CHACALTANA, C. et al. La Formación Chota en la cuenca Bagua: Evaluación e implicancias del criterio de clasificación litoestratigráfico. v. 110, p. 63–066, 2015.
- CUBA. MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR., M. et al. *Minería y geología : revista de ciencias de la tierra*. [s.l.] Editorial Universitaria, 2000. v. 37
- GARCIA, J. ESTUDIOS TEMÁTICOS PARA ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA Y ECONÓMICA DEL DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN HIDROGRAFÍA. [s.l: s.n.].
- HAGHI, R. K. et al. pH of CO₂ saturated water and CO₂ saturated brines: Experimental measurements and modelling. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, v. 66, p. 190–203, 1 nov. 2017.
- HELIANI, L. S. et al. Spatiotemporal variation of vertical displacement driven by sea-sonal hydrological water storage changes in Kalimantan, Indonesia from GPS obser-vation. *Geodesy and Geodynamics*, v. 11, n. 5, p. 350–357, 1 set. 2020.
- HE, Y. et al. On the ideal groundwater sampling window by utilizing transition pumping period. *Journal of Hydrology*, v. 610, p. 127796, 1 jul. 2022.
- MALLARINO, A.; DJ WITTRY. Efficacy of grid and zone soil sampling approaches for site-specific assessment of phosphorus, potassium, pH, and organic matter. *Precision Agric*. p. 131–144, 2004.
- MARINERO-ORANTES, E. A.; ZUNIGA-GONZALEZ, C. A. Hydro Geochemical Characterization of Groundwater in the Northern Zone of the San Vicente Volcano, El Salvador. *SSRN Electronic Journal*, 17 ago. 2022.
- NISTOR, M. M. et al. Investigation of groundwater table distribution using borehole piezometer data interpolation: Case study of Singapore. *Engineering Geology*, v. 271, p. 105590, 20 jun. 2020.
- OROZCO, C. et al. *Contaminación Ambiental. Una visión desde la química*. Thomson Editoriales Spain Paraninfo, v. tercera edición, 2005.
- PINO V, E.; COARITA A, F. Caracterización hidrogeológica para determinar el deteri-oro de la calidad del agua en el acuífero la yarada media. *Revista de Investi-gaciones Altoandinas -Journal of High Andean Research*, v. 20, n. 4, p. 477–490, 29 out. 2018.
- PINO V., E.; PINO V., E. El acuífero costero La Yarada, después de 100 años de explotación como sustento de una agricultura en zonas áridas: una revisión histórica. *Idesia (Arica)*, v. 37, n. 3, p. 39–45, set. 2019.
- RAYNIE, D. E. The Vital Role of Blanks in Sample Preparation. *Chromatography*. dez. 2020.
- RÉROLLE, V. et al. Measuring pH in the Arctic Ocean: Colorimetric method or Sea-FET? *Methods in Oceanography*, v. 17, p. 32–49, 1 dez. 2016.
- SÁNCHEZ, A.; DÁVILA, D.; DE LA CRUZ, N. *GEOLOGIA DEL CUADRANGULO DE JAEN*. [s.l: s.n.].
- SARAIVA, M. D. et al. Correlação Entre a Exatidão da Medida de Posição do GPS e as Condições Atmosféricas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 37, n. 2, p. 177–183, 1 jun. 2022.
- SCHNEIDER, S. H.; ROOT, T. L.; MASTRANDREA, M. D. *Encyclopedia of Climate and Weather*. Oxford University Press, v. 2.a ed, p. 531, 2011.
- SENAMHI. ESTUDIO DE LA HIDROLOGIA DEL PERÚ. [s.l: s.n.].
- SHIKLOMANOV, A.; RODDA, J. *World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century*. Cambridge University Press. UK, p. 253, 2004.
- SUN, K. Formulating surrogate pumping test data sets to assess aquifer hydraulic conductivity. *Journal of Hydrology X*, v. 1, p. 100004, 1 dez. 2018.
- TANTRAY, J. A. et al. pH meter: Its use and calibration. *Basic Life Science Meth-ods*, p. 9–10, 1 jan. 2022.
- TEODORO SILVA, J. et al. Calidad química del agua subterránea y superficial en la cuenca del río Duero, Michoacán. *Tecnología y ciencias del agua*, v. 4, n. 5, p. 127–141, 2013.

WANG, Y. et al. High stress low-flow (HSLF) sampling: A newly proposed groundwater purge and sampling approach. *Science of The Total Environment*, v. 664, p. 127–132, 10 maio 2019.

WEN, Z. et al. Well hydraulics in pumping tests with exponentially decayed rates of abstraction in confined aquifers. *Journal of Hydrology*, v. 548, p. 40–45, 1 maio 2017.

XU, X. et al. Using MODFLOW and GIS to Assess Changes in Groundwater Dynamics in Response to Water Saving Measures in Irrigation Districts of the Upper Yellow River Basin. *Water Resources Management*, v. 25, n. 8, p. 2035–2059, 2 jun. 2011.